

Title	市販エンジンに後付け可能な熱効率向上システムの開発と実践
Author(s)	北野, 裕太郎
Citation	平成29年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書
Issue Date	2018-04
oaire:version	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/68111">https://hdl.handle.net/11094/68111</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 平成29年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	きたの ゆうたろう 北野 裕太郎	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	3 年
ふりがな 共 同 研究者名	まつい たいち 松井 太一	学部 学科	基礎工学部 システム科学科	学年	2 年
					年
アドバイザー教員 氏名	石原 尚	所属	知能・機能創成工学専攻		
研究課題名	市販エンジンに後付け可能な熱効率向上システムの開発と実践				
研究成果の概要	熱効率を向上させるエンジン制御システムを一般的な市販エンジンに対しても簡便に後付け可能な方式で実現し、自作のフォーミュラレーシングカーに搭載してその効果を燃料消費量で評価する				
<b>1. 緒言</b> <b>1.1 研究背景</b> <p>自動車用エンジン等の内燃機関はシリンダ内部に流入する空気の量をスロットルバルブ（絞り弁）で調整し出力調整を行う。スロットルバルブの開度を小さくし吸入量を少なくすると、新気の吸入抵抗が増大し、燃焼によって得られる出力の一部が損失する。この時生じる損失をポンプ損失という。</p> <p>ポンプ損失は主要な効率損失の一つであり、スロットルバルブの開度が小さいとき、ポンプ損失は、摩擦による機械損失と同じオーダーであり、それは燃料の持つ化学エネルギーの 10%以上に相当する<sup>[1]</sup>。ポンプ損失を低減する試みは各自動車メーカーが長年行ってきた。独 BMW 社はスロットルバルブを廃し、バルブリフト量を無段階に調整できる特殊機構をエンジン内部に組み込むことで損失低減を図っているが、設計、生産で高コストであるため、安価な大衆車には普及していない。</p> <b>1.2 研究目的</b> <p>上記のように各自動車メーカーが開発した損失低減システムは、高コストで後付けが不可能であり、大規模な普及は難しい。そこで高い普及率が見込める低コストで後付け可能なシステムを開発し、熱機関の熱効率向上という社会的重要課題に取り組む。また、本研究グループが全日本学生フォーミュラ大会に出場するために開発した小型フォーミュラレーシングカーOF-17（以下 OF-17）にポンプ損失低減システムを搭載し、実用に十分耐えうるシステムの開発を行う。</p> <b>1.3 研究概要</b> <p>上記目標を達成するため、スロットル開度を大きく保ったまま、燃料供給を調整して出力を抑える後付け可能な制御装置を市販のマイコンモジュール、リレー回路を用いて製作する。ポンプ損失低減システムを OF-17 に搭載し、ミニコースを走行させ、実燃料消費量の測定とラップタイム計測を行う。ポンプ損失低減システムを搭載していない状態でも同様に測定を行い、システムの性能評価を行</p>					

う。

## 2. ポンプ損失低減システムの開発

### 2.1 システムの仕様の決定

本研究では、ポンプ損失低減システムを搭載する OF-17 において、①アクセルペダル角度とエンジン出力ができるだけ線形関係にあること（出力の段付きがないこと）、②競技車両の最も一般的な性能指標であるラップタイムができるだけ長くないこと、の二点が満たされている状態を実用性が確保されていると定義した。

上記実用性を従来と同等に確保した条件下で達成した燃料消費量の削減を、損失の低減ならびに熱効率の向上として評価する。

以上の実用性と損失低減性能を両立させるため、本研究で開発するシステムに求められる仕様を 1)～4)のように設定した。

- 1) スロットル開度とエンジン回転数に応じて燃料をカットできること。
- 2) 上記の燃料カット率は、調整可能なこと。
- 3) 比較的安価な部品のみで構成されること。
- 4) 既存のエンジン、ECU(Engine Control Unit)に後付け可能なこと。

### 2.2 制御ユニットの製作

エンジンと ECU の間に接続する制御ユニットを含むポンプ損失低減システムの構成図を Fig.1 に示す。通常の場合、エンジンからエンジン回転数（図中 RPM）、スロットル開度（図中 TPS）が ECU に送られ、それらに応じた燃料噴射量（図中 INJ）がエンジンに送信される。毎吸気工程にインジェクター（燃料噴射装置）が指定量を噴射する。

本研究では開発した制御ユニットをエンジンと ECU の間に接続し、制御ユニットに ECU からエンジン回転数、スロットル開度を入力する。エンジン回転数、スロットル開度に応じた燃料カット率を設定し、インジェクターへの信号をカット率に応じて遮断、燃料噴射量を制限して出力制御を行う。

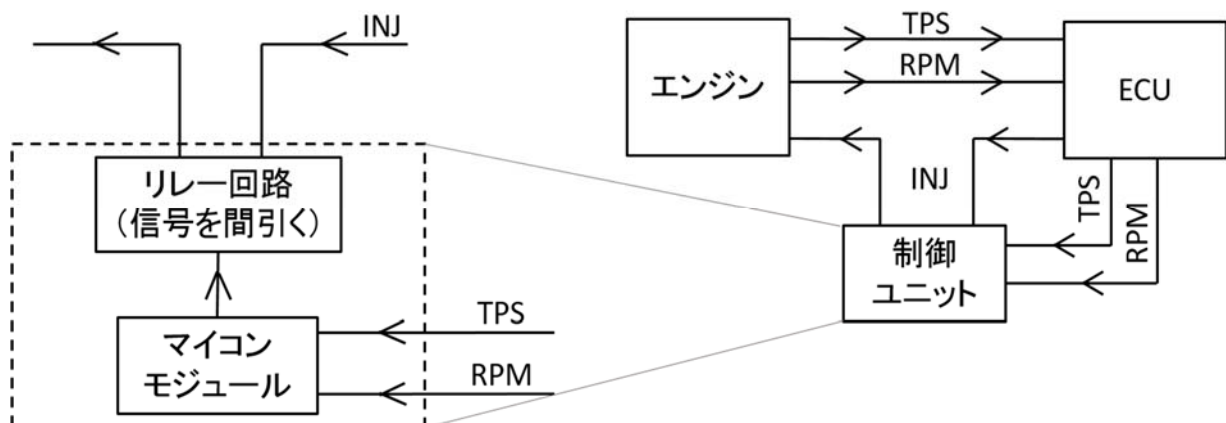


Fig.1 ポンプ損失低減システム構成

実際に制作した制御ユニットを Fig.2 に示す。中央の黒い箱の中に制御ユニットが組み込んだ。制御ユニットはマイコンモジュール（Arduino UNO）とリレー回路で構成した。これらは実売数千円程度の市販品であり、安価な部品のみで制御ユニットを構成した。

電源は車両より供給し、インジェクターとの接続は元のハーネスと入れ替える形式とした。これら

により OF-17 のみならず市販のエンジン，ECU に対して後付けが容易である．

インジェクターに接続

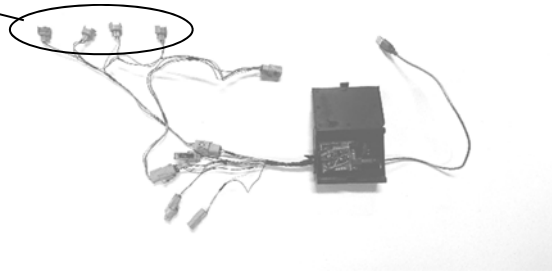


Fig.2 製作した制御ユニット

## 2.3 市販エンジンへの制御ユニット搭載並びに各パラメータのチューニング

製作した制御ユニットをエンジン（下記 Fig.2, ZX636E, 川崎重工業㈱製）及び ECU（S80Pro, 英 DTA 社製）に接続する．燃料を間引くシリンダを数パターン試し，振動が最も少なくドライバーが扱いやすかった中央二つのシリンダに決定した．

Table.1 に各スロットル開度，エンジン回転数における燃料カット率を示す．色が濃いほど燃料カット率が高くなっている．スロットル開度が小さい領域は燃料を噴射せずエンジン出力を小さくすることでドライバーに積極的にスロットル開度が大きい領域を使用させる狙いである．一方，スロットル開度が大きいと必要以上の出力が供給されるので，システムを搭載していないときの出力特性とできるだけ一致するよう，スロットル開度，エンジン回転数に応じて燃料カット率を変化させた．

Table.1 各スロットル開度，回転数の燃料カット率[%]



Fig.2 ZX636E

	スロットル開度[%]															
RPM	0.0	2.0	5.0	9.0	12.0	16.0	22.0	29.0	38.0	47.0	57.0	69.0	81.0	96.0		
5000	100	91	77	63	54	44	32	22	13	7	4	1	1	0		
5500	100	99	84	68	56	48	35	24	15	9	5	2	1	0		
6000	100	100	94	76	65				18	11	6	2	1	0		
6500	100	100	100	90	78				24	14	7	2	1	0		
7000	100	100	100	100	90	78	61	43	29	18	9	3	1	0		
7500	100				94	81	64	47	31	19	10	4	2	0		
8000	100	損失が大きい領域				100	86	68	50	32	20	10	4	2	0	
8500	100	100	100	100	100	89	70	52	34	21	11	4	2	0		
9000	100	100	100	100	100	95	74	55	36	22	12	5	2	0		
9500	100	100	100	100	100	100	78	58	38	24	13	6	3	0		
10000	100	100	100	100	100	100	85	63	41	26	15	6	3	0		
10500	100	100	100	100	100	100	89	66	43	27	15	7	3	0		
11000	100	100	100	100	100	100	94	69	45	28	16	7	3	0		
11500	100	100	100	100	100	100	99	72	48	30	17	8	3	0		
12000	100	100	100	100	100	100	100	77	51	32	19	9	4	0		
12500	100	100	100	100	100	100	100	82	53	34	20	9	4	0		
13000	100	100	100	100	100	100	100	86	55	35	20	10	4	0		
13500	100	100	100	100	100	100	100	91	58	36	20	10	4	0		

## 3. 性能評価

### 3.1 評価方法の検討

自動車用エンジンの出力特性，熱効率測定にはエンジンベンチが一般的である．慣性モーメントが既知のローラーの上に自動車を乗せ，エンジン駆動力でローラーを回転させる．この時生じる角加速度と回転数から出力が計算される．しかし，この方式ではエンジンは常に高負荷かつ回転数が上昇していく状態となってしまう，ポンプ損失が顕著に表れる低負荷一定回転数を再現できない．

他の熱効率を推定する方法として，テストコースを走行させ燃料消費量を測定する方法がある．コースのコーナー途中にはスロットル開度が一定で低負荷の領域が存在し，ポンプ損失の影響が走行時の燃料消費量に影響を与えていると考えられる．よってポンプ損失低減システムを搭載した状態としていない状態で，同じラップタイムでミニコースを周回走行させる．その時の燃料消費量を測定比較し，より少ない方を熱効率が高いと評価する．

また、システムを搭載した状態で、搭載していないときと同程度のラップタイムと操作性を再現できるかで実用性を評価する。

### 3.2 性能評価結果

一周約 470[m]の性能評価用コースをできるだけ同じラップタイムで 10 周走行させた。平均ラップタイム、平均スロットル開度、燃料消費量を以下に示す。ポンプ損失低減システムの搭載によって、スロットル開度が 28.4[%]から 65.5[%]に増大し、ポンプ損失が低減できたと考えられる。結果的に燃料消費量が 25[ml]削減され 2.56[%]熱効率が向上した。

またドライバーへのヒアリングを行い、使用するスロットル領域は変わったものの操作性が保たれているというフィードバックが得られたので、実用性も確保できたと判断した。

Table.2 性能評価結果

	損失低減システムあり	損失低減システムなし	備考
平均ラップタイム[sec]	37.95	37.32	-
平均スロットル開度[%]	65.5	28.4	130[%]増大
燃料消費量[ml]	952	977	2.26[%]向上

### 4. 今後の展望

本研究では、燃料消費量から熱効率の向上を確認したが、走行時のポンプ損失の実測は行っていない。スロットル単体での圧力損失の実測や、車両搭載状態ではなくエンジン単体でシステムを構成し、シリンダ内圧の実測を行うことでポンプ損失低減システムの定量的評価が行える。

また、今回はラップタイムを比較対象と揃え、ドライバビリティを維持する燃料カット率のチューニングを行ったが、別に低負荷一定速度領域での最低限の出力を確保し、燃料消費量を可能な限り削減した燃料カット率のチューニングも行い、走行状況に合わせそれらを切り替えられるようにすると既存のエンジンの汎用性をより高められる。

### 5. 結論

本研究で以下の結論が得られた。

- 1) スロットル開度、エンジン回転数に応じて燃料噴射をカットする装置を安価な部品で実現した。
- 2) 開発した装置をポンプ損失低減システムのない一般のエンジンに搭載し走行させ、同じラップタイムを少ない燃料消費量で実現し、熱効率の向上を示す結果を得た。

### 6. 謝辞

本研究においては、アドバイザー教員である石原尚先生また事務職員の山田佳美さんには本件へのアドバイス、予算執行に留まらず、本研究グループが参加している学生フォーミュラプロジェクト全般に渡ってご協力いただきました。本当にありがとうございます。また本学工学研究科機械工学専攻修士一年生の石田拓人さんと同じく修士一年生の井上寛之さんには、制御ユニット製作や性能評価方法考案のお手伝いまでしてくださいました。ありがとうございます。

技術向上の機会を得ることができたのは本自主研究奨励事業を支えて下さる皆様のおかげであると感じております。大阪大学未来基金の皆様、本事業に関わる教職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

### 7. 参考文献

[1] 小口泰平 監修 ボッシュ自動車ハンドブック (第3版) 日経BP社